

Midiendo la congestión en el Camino General Belgrano

Bordagaray Leandro
Carbajal Rocío
Maliandi María Ivonne

2002

Introducción

El aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial han traído como consecuencia, incrementos en la congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales, bastante mayores que los considerados aceptables por los ciudadanos. El aumento explosivo de esos fenómenos se debe a la facilidad creciente de acceso a automóviles, fruto del aumento del poder adquisitivo de las clases socioeconómicas de medianos ingresos, el mayor acceso al crédito, la reducción relativa de los precios de venta, el crecimiento de la población, la reducción del número de habitantes por hogar y la escasa aplicación de políticas estructuradas en el área del transporte urbano.

En tal contexto, la motivación del presente trabajo radica en que la tendencia a relocalizarse en las afueras de la ciudad de La Plata, principalmente al noroeste de la misma (Gonnet, City Bell, Villa Elisa), en busca de mejores condiciones de vida, es posible que haya provocado cierto grado de congestión en las vías de acceso a la ciudad desde esos puntos. Dada la mayor cantidad de gente que debe trasladarse a su lugar de trabajo (commuting), se vuelve relevante la medición del flujo vehicular, para determinar la existencia de congestión y en qué medida esto genera un costo para los usuarios del camino.

El objetivo del trabajo consiste en estimar la función de costo de viaje en el Camino General Belgrano (CGB) a los efectos de establecer si existe congestión y como es ésta en relación a lo postulado por la teoría.

En el primer apartado se hará un breve resumen de los contenidos teóricos sobre el tema de la congestión. En segundo lugar se describirá la metodología empleada para la confección de la base de datos a utilizar en la determinación de las funciones de costo y por tanto en la identificación o no de congestión. A continuación se presentarán los resultados junto con una interpretación de los mismos. Finalmente se concluirá con algunas alternativas de solución y sugerencias sobre posibles extensiones del mismo.

Marco Teórico

La causa fundamental de la congestión es la fricción entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una posible definición objetiva sería: “la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”.

A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación, con lo cual la función de costo medio de viaje tiene pendiente positiva y creciente y lo mismo ocurre con la de costo marginal. La diferencia entre ambas curvas representa, para cualquier volumen de tránsito, el aumento del tiempo de viaje de los demás vehículos que están circulando, a causa de la introducción del vehículo adicional.

Las dos curvas coinciden hasta un nivel de tránsito crítico hasta el cual el cambio en el tiempo de viaje de todos los vehículos es simplemente el tiempo empleado por el que se incorpora, porque los demás pueden seguir circulando a la misma velocidad que antes. Por el contrario, de ahí en adelante, las dos funciones divergen, estando el costo marginal por arriba del costo medio. Eso significa que cada vehículo que ingresa experimenta su propia demora, pero simultáneamente aumenta la demora de todos los demás que ya están circulando. Ello tiene como consecuencia que un usuario individual percibe sólo parte de la congestión que causa, recayendo el resto en los demás vehículos que forman parte del flujo de ese momento. En el lenguaje especializado se dice que los usuarios perciben los costos medios privados, pero no los costos marginales sociales.

En estricto rigor, los usuarios tampoco tienen acabada noción de los costos medios privados, puesto que, por ejemplo, pocos automovilistas tienen una idea clara de cuánto les cuesta realizar un viaje adicional, en términos de mantenimiento, desgaste de neumáticos, etc. Por otra parte, sí perciben los costos cargados por el gobierno, que son simples transferencias del automovilista al estado, particularmente el impuesto sobre los combustibles, todo lo cual distorsiona su forma de tomar decisiones.

Otra conclusión, que por lo demás se puede corroborar por simple observación, es que a bajos niveles de congestión, un aumento en el flujo no aumenta significativamente el tiempo de viaje, pero, a niveles mayores, el mismo aumento absoluto incrementa considerablemente las demoras totales.

De acuerdo con la definición entregada, la congestión empieza con un volumen de tránsito crítico. El problema es que en general, ello sucede a volúmenes relativamente bajos, lo cual no coincide con la interpretación popular del concepto.

Características del transporte urbano que provocan la congestión

El sistema de transporte, incluyendo la provisión de suelo urbano para infraestructura de transporte, se desenvuelve bajo características propias muy particulares, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- la demanda por transporte es “derivada”, es decir, pocas veces los viajes se producen por un deseo intrínseco de desplazarse; generalmente, ellos son producto de la necesidad de acceder a los sitios en que se llevan a cabo las distintas actividades (como el trabajo, las compras, el estudio, la recreación, el descanso, etc.), todas las cuales se desarrollan en lugares diferentes;

- la demanda por transporte es eminentemente variable y tiene puntas muy marcadas en las cuales se concentran muchos viajes, a causa del deseo de aprovechar en buena forma las horas del día para realizar las distintas actividades y para tener oportunidad de contacto con otras personas.
- el transporte se efectúa en limitados espacios viales, los que son fijos en el corto plazo; como es fácil de comprender, no se puede acumular la capacidad vial no utilizada para ser usada posteriormente en periodos de mayor demanda;
- las opciones de transporte que presentan las características más apetecidas, es decir, seguridad, comodidad, confiabilidad, autonomía, como es el caso del automóvil, son las que implican un mayor uso del espacio vial por pasajero
- especialmente en zonas urbanas, la provisión de infraestructura vial para satisfacer la demanda de los periodos de punta tiene un costo muy elevado, y a raíz de todo ello,
- se produce congestión en diversos lugares, con sus negativas secuelas de contaminación, importante gasto de los recursos privados y sociales y pérdida de calidad de vida.

Un factor agravante es, como se indicó anteriormente, el hecho de que el costo de la congestión no es percibido plenamente por los usuarios que contribuyen a generarla. Cada vez que ello ocurre, el bien o servicio involucrado se consume en mayor medida que lo socialmente conveniente. Como los usuarios no experimentan los mayores costos de tiempo y operación que provocan a los demás, las decisiones de ruta, modo, origen, destino y hora de los viajes son realizadas, no sobre la base de los costos sociales, sino sólo de los propios, o mejor dicho, de una percepción frecuentemente parcial de esos costos. El resultado lógico es una sobreexplotación de la vialidad existente.

Soluciones a la congestión

Se enumeran en la literatura una serie de medidas tendientes a solucionar el problema de la congestión, tanto por el lado de la oferta como de la demanda, que se exponen a continuación.

Acciones sobre la oferta

La oferta de transporte consiste en un conjunto de medios que permiten realizar transporte y que pueden clasificarse del siguiente modo: la infraestructura o red vial urbana; los medios de transporte o los vehículos, y la forma en que ambos son gestionados.

Mejorando cualquier componente de la oferta, normalmente se amplía la capacidad de transportar personas y disminuye la congestión. Sin embargo, actuar sólo sobre cualquiera de los tres componentes está sujeto a la ley de rendimientos decrecientes. Los tres ámbitos están estrechamente ligados por relaciones técnicas y se complementan entre sí. A continuación se abordan diversas posibilidades.

- La red vial urbana. La infraestructura está compuesta por avenidas y calles e intersecciones. Puede haber situaciones en las que sea apropiado ensanchar alguna calle o construir nuevas, aunque debe tenerse en cuenta que la solución sea eficiente y ambientalmente sostenible. Por otra parte, grandes inversiones en vías más amplias suelen no alcanzar los resultados esperados, pues nuevos automovilistas se incorporarán al flujo, reproduciendo la congestión a mayores niveles de tránsito, fenómeno palpable en ciudades que han construido redes de autopistas.
- Coordinación de semáforos. Los semáforos son apropiados en numerosas intersecciones. No obstante, cuando muchos operan cerca uno del otro, su coordinación es una de las formas más eficientes de mejorar la velocidad de circulación y lograr significativos ahorros de tiempos de viaje,

combustibles, contaminación y accidentes. Ello puede ser variable a lo largo del día en función de los movimientos principales o de proveer facilidades a aquellos vehículos que presentan un uso más eficiente del espacio, como son los transportes públicos.

- **Prioridades para el transporte público.** Una manera práctica de aumentar la capacidad de transporte de personas es mediante el mayor uso de vehículos que transporten más pasajeros que los automóviles. Así, se emplean menos vehículos, con un uso más efectivo del escaso espacio vial. Son los micros los que permiten los mejores resultados. Las prioridades para el transporte público se justifican por una parte, porque causan menos congestión por pasajero transportado; y por otra, son medidas regulatorias que corrigen la distorsión por no percepción de los costos de congestión impuestos por el automóvil.

Acciones sobre la demanda

Las medidas bien concebidas sobre la oferta contribuyen a crear mayor capacidad. Sin embargo, no debe olvidarse que la mejor utilización de la oferta no da cuenta por sí sola de las complejas realidades ligadas a la congestión. Puede ser necesario incorporar medidas sobre la demanda, que permitan resolver los desajustes en el uso de la infraestructura y que apunten al logro de un equilibrio aceptable para la comunidad.

Actuar sobre la demanda significa modificar los hábitos de transporte. Estas medidas promueven una conducta más acorde con los elevados niveles de tránsito y la seguridad en los desplazamientos. Así, se procura mejorar las conductas de circulación de vehículos y peatones, modificar en las horas punta el tipo de vehículo usado, prefiriendo el de gran capacidad, y transferir una parte de los viajes a horas de menores niveles de tránsito. Es decir, se pretende reordenar los desplazamientos y no suprimirlos, pues ello implicaría la pérdida de la utilidad que ellos representan para quienes quieren realizarlos.

La congestión se debe en gran medida al uso intensivo del automóvil, particularmente en viajes al trabajo. La congestión podría disminuirse en buena medida si se convenciese a un número importante de automovilistas, que circulan en zonas o períodos de alto tránsito, de que utilicen el transporte público o que cambien el horario de su viaje. A continuación se indican algunas opciones.

- **Educación vial.** Es indispensable mejorar el comportamiento de conductores y peatones. Las normas de tránsito definen derechos y restricciones del uso de las calles y así, se logra la fluidez y evitar accidentes. La conducción indisciplinada o falta de respeto hacia los demás, reduce de hecho la capacidad de la red vial a una fracción de su potencial.

- **Escalonamiento o dispersión de horarios.** Consiste en establecer distintas horas de entrada y salida para las diferentes actividades, tales como trabajo, comercio, colegios, universidades, etc. La entrada a los colegios podría ser anterior a la de la generalidad de los trabajos. La educación superior, el comercio y buena parte de las actividades privadas e incluso, la administración pública, parecen disponer de cierta flexibilidad en el horario de inicio.

- **Control de estacionamiento.** El estacionamiento es una condición indispensable en todo sistema de transporte vial. Sin contar los taxis, los automóviles no están destinados al movimiento perpetuo, sino a realizar viajes específicos. Una vez finalizados, el vehículo pasa a una etapa estacionado. Mediante el control de estacionamientos en áreas congestionadas se pueden alcanzar objetivos como el aumento del espacio destinado a la circulación o el desincentivo de ciertos viajes en automóvil, todo lo cual aminora la congestión. Existen diversas modalidades de control, tales como: la prohibición de estacionar en determinados lugares y períodos, especialmente en las vías de altos volúmenes de tránsito; la fijación de cuotas de espacio o tiempo de aparcamiento; la

imposición de un precio por estacionar o por el suministro del espacio, que refleje los costos que el estacionamiento implica para la sociedad, y la provisión de estacionamientos intermedios que permitan hacer viajes combinados de automóvil y transporte público.

Una opción para bajar la congestión es desalentar los viajes en auto a las zonas centrales de las ciudades en las horas punta. La dotación de aparcamientos o su ausencia, así como su costo, condicionan el acceso en automóvil, si éste debe ser estacionado. Cabe tener presente que más de la mitad de los viajes en los períodos punta tienen como propósito ir al trabajo y que gran cantidad de plazas laborales se ubica en zonas céntricas. De allí que exista un interesante potencial de atacar la congestión mediante acciones que desestimulen el estacionamiento de larga duración en las zonas laborales.

- **Tarificación vial.** La congestión de tránsito se debe en parte a la fuerte propensión a usar el automóvil, reforzada porque el usuario individual no percibe los costos que impone a los demás. La tarificación vial consiste en realizar un cobro, ya sea por transitar en o por ingresar a vías o zonas congestionadas. Sólo circulará la fracción de usuarios dispuesta a pagar, debiendo los demás usar otros modos de transporte o bien efectuar el viaje en automóvil en períodos en los cuales no exista cobro. Una interesante característica es que, en principio, el uso de las vías públicas queda regulado mediante un instrumento de mercado y no por una reglamentación impuesta por las autoridades.

La tarifa óptima es aquella igual a los costos adicionales, que cada vehículo flujo hace incurrir a los demás. Las tarifas pueden ser establecidas en función de la distancia recorrida, del tiempo permanecido en el sector tarificado, o simplemente por ingresar a él. La tarifa de congestión debe aplicarse sólo en sectores y períodos (generalmente las horas de mayor demanda) congestionados, no teniendo sentido económico hacerlo en otras partes. Como la punta de la mañana suele ser la más acentuada, la medida podría ser suficientemente efectiva si se aplica sólo durante ella, pues muchos dejarían de ir y regresar del trabajo en automóvil.

La tarificación vial se viene discutiendo desde hace más de tres décadas, sin que existan muchos casos de aplicación. Es una medida altamente resistida por la población y los legisladores. Es por ello que, antes de implantarla, deben resolverse aspectos como el impacto sobre las zonas no tarificadas, el destino de los recursos recaudados y los eventuales efectos adversos sobre los residentes y las actividades en la zona tarificada.

- **Restricción vehicular.** Consiste en prohibir de lunes a viernes la circulación de una parte de los vehículos en zonas y lapsos sujetos a congestión. Evitando la circulación simultánea de muchos automóviles, aunque sin afectar el derecho de comprarlos, es una manera de aminorar la congestión. Si tiene como fin controlar la congestión, la medida sólo tiene sentido en las zonas céntricas durante las horas punta. Resultados apreciables se obtienen aplicándola a una fracción importante del parque vehicular, por ejemplo, a 20% de los automóviles; sería en forma rotativa a lo largo de la semana, en función del último dígito de la placa. Por otra parte, es usual que se prohíba la circulación de camiones y otros vehículos de carga en zonas céntricas en las horas punta. Los micros deberían excluirse, pues son los que menos congestionan por pasajero transportado y son una importante opción en el caso de tener que dejar guardado el auto propio.

Metodología

Para estimar la congestión en el camino General Belgrano deben calcularse los costos medios (privados) de un recorrido determinado del camino, en función del flujo vehicular¹. Estos costos medios incluyen el desgaste del vehículo, gasto en combustible, etc, así como también el costo del tiempo de viaje. Este último se aproxima por el producto entre una medida del tiempo de viaje y el ingreso del individuo. A modo de simplificación, el análisis se focaliza en el costo del tiempo, suponiendo que el resto de los costos no depende tan fuertemente del número de vehículos circulando, es decir que serían fijos.

La información que debió recabarse para la estimación fue, por tanto, el ingreso horario promedio para la ciudad de La Plata, el tiempo de recorrido entre dos puntos representativos del CGB y el número de vehículos por minuto.

El dato sobre ingreso horario se obtuvo de la EPH de octubre de 2000 y es \$4,53.

Como puntos de partida y de llegada se tomaron las esquinas de CGB y calle 472 y CGB y calle 508. La muestra se tomó en días de semana, ya que lo que interesaba principalmente era el tiempo de commuting. Los horarios en los cuales se muestreó fueron:

- 7:30 a 10:00
- 11:00 a 17:00
- 18:00 a 20:00
- 21:00 a 24:00

Se considera de este modo un rango amplio de horarios, incluyendo horas diurnas y nocturnas, de modo de considerar las variaciones en la demanda de viajes.

En estos horarios se tomaron ininterrumpidamente las patentes de los vehículos², tanto en llegada como en partida, registrando concomitantemente el horario exacto en que pasó cada uno. Luego se cotejaron los registros tomados en cada uno de los puntos, identificando a aquellos vehículos que completaron el recorrido estipulado y calculando para cada uno el tiempo de recorrido como la diferencia entre los horarios de llegada y partida. Se obtuvieron así 581 observaciones de autos que completaron el recorrido. Cabe aclarar que se tomaron precauciones para evitar la pérdida de datos y el sesgo de los mismos a favor de autos que circularan a velocidades medias o bajas, por ejemplo la elección estratégica de los puntos de llegada y partida en las proximidades de lomas de burro.

Para obtener el número de autos por minuto se dividió el tiempo de muestreo en intervalos de diez minutos y se contabilizaron para cada uno de ellos todos los autos que pasaron por el punto de partida y por el punto de llegada, hubieran o no completado el recorrido, ya que aun cuando se detuvieran o desviarán contribuyen a la congestión del camino. A partir de allí se obtuvo el número de autos por minuto para cada intervalo horario. Se procedió de esta manera para homogeneizar, dado que por la existencia de semáforos y demás condiciones del camino los autos suelen pasar en tandas, implicando una numerosa cantidad de vehículos en algunos minutos y pocos o ninguno en otros.

Posteriormente se hizo corresponder a cada una de las 581 observaciones de tiempo de recorrido el promedio del número de autos por minuto contabilizado en los puntos de partida y llegada.

¹ También debe estimarse la demanda, pero supondremos simplemente una demanda con pendiente negativa y nos concentraremos en la estimación de los costos.

Dicho promedio se realizó entre los autos que circulaban por el punto de partida en cada intervalo y los que circularon por el punto de llegada al intervalo siguiente, de forma de captar la cantidad de vehículos presentes a lo largo del recorrido³.

Ejemplo:

Horario partida	Horario llegada	Tiempo de recorrido	Cantidad de vehículos por minuto partida (entre 7:30 y 7:40)	Cantidad de vehículos por minuto llegada (entre 7:40 y 7:50)	Cantidad de vehículos por minuto (promedio)
7:32:20	7:42:10	0:09:50	4	2	3

A continuación se multiplicó el tiempo de recorrido (en segundos) por el ingreso por segundo para obtener el costo del tiempo. Finalmente se promediaron los costos de tiempo para todas las observaciones que tenían la misma cantidad de autos por minuto.

Ejemplo:

Tiempo de recorrido (seg)	Costo del tiempo (tiempo*ingreso ⁴ seg) ⁴	Cantidad de vehículos por minuto	Costo del tiempo (promedio)
885	1.11	4	0.996
774	0.97	4	
723	0.91	4	
603	0.76	3.2	0.803
635	0.80	3.2	
665	0.85	3.2	

Los datos de las últimas dos columnas de la tabla precedente son los que se utilizan en el análisis.

² Se consideraron todos los vehículos automotores, incluidos los de transporte público, excepto aquellos con patentes antiguas o sin patente. A los efectos de este trabajo se toma la palabra auto como sinónimo de vehículo.

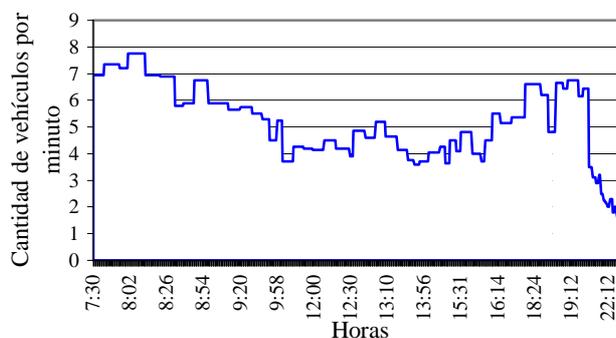
³ Ver anexo

⁴ Ingreso por segundo=ingreso por hora/3600=0.0012583

Resultados e interpretación

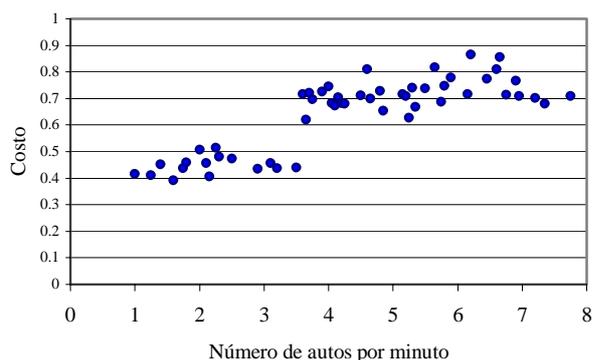
Un análisis preliminar que puede resultar interesante, antes de abocarnos a la estimación de costos medios, consiste en estudiar a partir de los datos recabados el patrón de tránsito en el camino a lo largo del día. El mismo se grafica a continuación:

Patrón temporal del tránsito en CGB



Observamos claramente que los horarios pico son los de 7:30 a 9:00 hs y de 18:30 a 21:00 hs. Esto es compatible con la idea de la necesidad de trasladarse a la ciudad para llevar a cabo actividades principalmente laborales. El primer rango horario es el correspondiente al inicio de la jornada laboral, extendiéndose hacia las 9 de la mañana por ser este el horario de apertura de comercios. El elevado número de vehículos contabilizado en las horas más altas de la tarde obedece al regreso del trabajo. Existe una cantidad de vehículos intermedia durante el resto del día entre picos y una escasa cantidad en las horas de la noche. Este patrón estaría aproximando las demandas de pico, valle e intermedias del camino a lo largo de un día de semana típico. Pasando al tema de medición de costos medios, el primer paso consiste en graficar el cross-plot del costo del tiempo privado o medio en el número de vehículos por minuto.

Cross-plot



Se aprecia en el gráfico un quiebre importante en el costo a la cantidad de 3.5 vehículos, razón por la cual se considera apropiado estimar separadamente los distintos tramos de la función de costos. La muestra se dividirá en dos submuestras, la primera abarcará las observaciones 1 a 16 y la segunda de la observación 17 a la 53, yendo el rango de valores para la cantidad de autos por minuto de 1 a 3.5 y de 3.5 a 7.75, respectivamente.

Para el primer tramo se corrió una regresión lineal, ya que de acuerdo a lo predicho por la teoría, los costos deberían ser constantes a niveles bajos de tránsito. Para el segundo tramo se corrió una función cuadrática para corroborar si los datos se ajustaban a la teoría, que estipula que los costos medios, a partir del nivel crítico de vehículos crecen a una tasa creciente.

EQ(1) Modelling Costo by OLS (using Data1)
The present sample is: 1 to 16

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob	HCSE	PartR^2
Constant	0.42483	0.027890	15.232	0.0000	0.021949	0.9431
Autos	0.010871	0.012207	0.891	0.3882	0.0086614	0.0536

R^2 = 0.0536163 F(1,14) = 0.79315 [0.3882] \sigma = 0.0341783 DW = 1.82
RSS = 0.01635414699 for 2 variables and 16 observations

AR 1- 2 F(2, 12) = 0.11345 [0.8937]
ARCH 1 F(1, 12) = 0.19669 [0.6653]
Normality Chi^2(2)= 1.164 [0.5588]
Xi^2 F(2, 11) = 0.91996 [0.4271]
Xi*Xj F(2, 11) = 0.91996 [0.4271]
RESET F(1, 13) = 4.1721 [0.0619]

EQ(2) Modelling Costo by OLS (using Data1)
The present sample is: 17 to 53

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob	HCSE	PartR^2
Constant	0.37188	0.19620	1.895	0.0666	0.17619	0.0956
Autos	0.11854	0.074018	1.602	0.1185	0.066823	0.0701
autos2	-0.0093753	0.0067265	-1.394	0.1724	0.0059941	0.0540

R^2 = 0.163067 F(2,34) = 3.3123 [0.0485] \sigma = 0.0526646 DW = 1.93
RSS = 0.09430098375 for 3 variables and 37 observations

AR 1- 2 F(2, 32) = 1.0697 [0.3551]
ARCH 1 F(1, 32) = 1.3458 [0.2546]
Normality Chi^2(2)= 1.4407 [0.4866]
Xi^2 F(3, 30) = 1.066 [0.3782]
Xi*Xj F(4, 29) = 0.80556 [0.5317]
RESET F(1, 33) = 2.7242 [0.1083]

Con la primera regresión se confirma que, cuando el número de vehículos es muy bajo, la curva de costos medios es horizontal, dado que el coeficiente de la variable explicativa número de vehículos por minuto resulta no significativo para los niveles de significatividad usualmente empleados.

De la segunda regresión se rechaza la existencia de una relación positiva creciente entre las variables, ya que los coeficientes no son significativos, con lo cual la evidencia en este caso no avala a la teoría. A raíz de esto decidimos estimar una relación lineal entre el costo del tiempo y el número de vehículos por minuto para el segundo tramo, obteniéndose los siguientes resultados:

EQ(4) Modelling Costo by OLS (using Data1)
The present sample is: 17 to 53

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob	HCSE	PartR^2
Constant	0.63962	0.040490	15.797	0.0000	0.036873	0.8770
Autos	0.015888	0.0074410	2.135	0.0398	0.0073978	0.1152

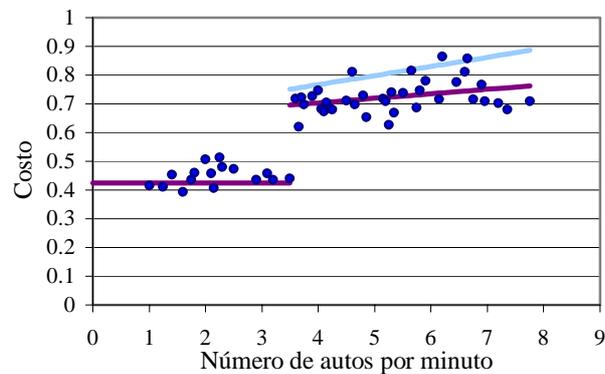
R^2 = 0.115247 F(1,35) = 4.5591 [0.0398] \sigma = 0.0533691 DW = 1.84
RSS = 0.09968901096 for 2 variables and 37 observations

AR 1- 2 F(2, 33) = 1.1201 [0.3383]
 ARCH 1 F(1, 33) = 1.211 [0.2791]
 Normality Chi^2(2)= 2.218 [0.3299]
 Xi^2 F(2, 32) = 1.4031 [0.2605]
 Xi*Xj F(2, 32) = 1.4031 [0.2605]
 RESET F(1, 34) = 1.9426 [0.1724]

En este caso, el coeficiente de la variable explicativa es significativamente distinto de cero y positivo, es decir que los costos medios comienzan a crecer cuando el número de autos alcanza los 3.6 autos por minuto. Sin embargo, el valor que toma el coeficiente es ínfimo (0.015), indicando que aumentos en el tránsito no llevan a aumentos importantes en los costos. Este aumento representa solo un 2,14% del costo privado de viaje al comenzar la congestión.

A partir de los resultados arrojados por las regresiones previas, podemos graficar las siguientes funciones de costos medios y marginales:

Estimación de costos medio y marginal



Hasta el nivel crítico de autos, el costo medio coincide con el costo marginal, por lo tanto no existe congestión y el tránsito es el socialmente óptimo. A dicho nivel ocurre un quiebre, aumentando el costo medio en un 50% (de 0.42 a 0.63). A partir de allí comienza la congestión, ubicándose el costo marginal por encima del medio. Asumiendo una demanda con pendiente negativa, el número de vehículos que se determina en forma privada en el segundo tramo es mayor que el socialmente óptimo, encontrándose éste en la intersección de la demanda con el costo marginal.

Dos explicaciones quedan aun pendientes: ¿por qué se produce el quiebre y a un nivel de tránsito tan reducido? Y ¿por qué el costo no crece a una tasa creciente?

El quiebre en la función de costo estaría indicando una importante reducción en la velocidad al incorporarse al camino el cuarto vehículo por minuto. Es un elemento a destacar en la explicación el hecho de que los niveles de tránsito más reducidos se registren en los horarios nocturnos, ya que un factor que puede estar jugando de forma crucial en el cálculo del tiempo de viaje es la forma de manejo, ya que durante la noche es un hecho que se produzca una mayor infracción de las normas de tránsito, circulando a velocidades mucho mayores a las permitidas, no respetando los semáforos y demás señalizaciones, etc. Todo esto conduciría a un aumento en los costos medios de viaje que sobreestima el efecto único de la congestión vehicular. Concluyendo, si bien la incorporación de un auto adicional a partir de los 4 genera congestión (como observamos por la

pendiente positiva de la función de costos en el tramo 2), no se da un incremento paulatino en el costo a raíz de los cambios antes mencionados.

Con respecto a por qué la congestión se da a niveles tan bajos de tránsito, la clave reside en las características del camino. Un inadecuado diseño o mantenimiento de la vialidad es causa de una congestión innecesaria. En el CGB se encuentran casos de falta de demarcación de los carriles de circulación, un solo carril por mano, inexistencia de banquetas, ubicación de las paradas de micros sobre el camino, mala sincronización de los semáforos y otras deficiencias que entorpecen la fluidez del tránsito. Asimismo, el mal estado del pavimento, especialmente la presencia de baches, lomas de burro, genera crecientes restricciones de capacidad y aumenta la congestión. A ello debe agregarse la frecuente presencia en los flujos de tránsito de vehículos antiguos, mal mantenidos, bicicletas, camiones y micros. Debe tenerse presente que al reiniciarse la marcha después de la detención en un semáforo, una suerte de congestión es generada por el atraso impuesto a vehículos con tasas de aceleración normales, debido a la lentitud de otros ubicados más adelante. A raíz de todo esto, a un número bajo de vehículos se genera congestión.

En cuanto al motivo del crecimiento lineal de los costos, este puede obedecer nuevamente a que las adiciones de vehículos en los horarios pico se lleva a cabo a velocidades mayores que fuera de ellos ya sea por la necesidad de cumplir un horario en el caso de las horas matutinas o por el deseo de regresar al hogar. Este comportamiento se posibilita dado que en ambos horarios la mayor congestión se observa en una de las manos del camino, permitiendo la maniobra de adelantamiento por el otro carril con facilidad. Este efecto compensa en parte a la congestión que se produce por el mayor número de autos en las horas pico, pudiendo ser ésta la causa del segundo interrogante.

Conclusión

Se desprenden del análisis los siguientes puntos:

- Desde las 7:30 a las 21:00 horas existe congestión en el Camino General Belgrano
- La congestión se verifica a niveles bajos de tránsito debido a las condiciones del camino
- Existe una diferencia importante en el costo de viaje entre los horarios diurnos y nocturnos debido a las características de manejo

Estos resultados sugieren la necesidad de encontrar soluciones que reduzcan la congestión. Entre ellas pueden proponerse:

- Mejoramiento de la señalización del camino
- Coordinación de semáforos (onda verde), de manera de reducir el tiempo de espera, así como también introducción de semáforos con duración variable para ajustarla según las necesidades de los distintos momentos del día.
- Ampliar el camino en las paradas de micros, para evitar que estos entorpezcan la normal circulación de los demás vehículos.
- Derivar el tránsito de camiones a la calle 25, la cual cuenta con más carriles en algunos tramos, lo que no genera tanta congestión y/u obligar a los que sea posible a circular en horarios en los que no haya congestión.
- Fomentar el uso de transporte público
- Estas medidas contribuirían a que la congestión comience a darse a niveles mayores de tránsito y a reducir la diferencia entre la cantidad de autos socialmente óptima y la resultante del accionar privado.

Finalmente algunas de las posibles extensiones del trabajo serían la estimación de las funciones de demanda para poder determinar la congestión socialmente óptima. A su vez, podría hacerse el análisis para los fines de semana, en los cuales probablemente haya diferentes horarios de congestión. Un último aspecto a ser estudiado es la inclusión del incremento en los costos de contaminación ambiental generado por la congestión.

Bibliografía

- Alison Wise. "Breaking the Gridlock: Real Solutions for Transportation Problems"
- BOLETIN FAL – Facilitación del comercio y el transporte en América Latina y el Caribe. "El tránsito urbano en la era de la apertura económica". Edición No.132, marzo-abril 1997
- CEPAL . Boletín FAL # 145. "Congestión del tránsito urbano: alternativas para su control". Edición No.145, agosto 1998
- CEPAL. Ian Thomson y Alberto Bull "La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales"
- CEPAL. "Medidas de control de la congestión de tránsito". Edición No. 182, octubre 2001.
- O´Sullivan, A. Urban Economics. Capítulo 19. 1996.